

1 برخورد

منظور از برخورد این است که چند جسم ابتدا آزاد نند (به هیچ کدام نیروی وارد نمیشود)، به هم نزدیک میشوند و به یکدیگر نیرو وارد میکنند (همچنان از بیرون به آنها نیرو وارد نمیشود، یا اگر وارد میشود چشم-پوشیدنی ست)، و باز از هم دور میشوند و آزاد میشوند. به این ترتیب، همیشه نیروها ی خارجی بی که به هر یک از این اجسام وارد میشود صفر است. چون نیروی خارجی صفر است، تکانه ی دستگاه پایسته است:

$$P_f = P_i. \quad (1)$$

یعنی

$$\sum_b p_{bf} = \sum_a p_{ai}, \quad (2)$$

یا

$$\sum_b m_{bf} v_{bf} = \sum_a m_{ai} v_{ai}. \quad (3)$$

a و b شاخص جسم نند. i و f هم نشانه ی، به ترتیب، پیش از برخورد و پس از برخورد (اولیه و نهایی) اند.

نیروها ی داخلی تکانه ی کل را عوض نمیکند، اما ممکن است انرژی-ی-جنبشی ی کل را تغییر دهند. انرژی-ی-جنبشی ی نهایی منها ی انرژی-ی-جنبشی ی اولیه را با Q نشان میدهم:

$$\begin{aligned} Q &= K_f - K_i, \\ &= \sum_b \frac{m_{bf} v_{bf} \cdot v_{bf}}{2} - \sum_a \frac{m_{ai} v_{ai} \cdot v_{ai}}{2}. \end{aligned} \quad (4)$$

به Q گرما ی برخورد (واکنش) میگویند. بعضی جاها Q را با علامت ی مخالف آن چه اینجا آمده تعریف میکنند. با علامت اینجا، Q ی منفی یعنی برخورد انرژی آزاد کرده، مثل وقت ی که دُ جسم به هم میخُردند و ساکن میشوند.

مکانیک نیوتنی با نسبیت گالیلیی سازگار است. این یعنی اگر پدیده ی A با یک دسته جسم و سرعتها ی متناظر با آنها رخ بدهد، پدیده ی A' هم رخ میدهد، که A' هم ان A است که در آن به سرعت

هر یک از اجسام یک سرعت ثابت u اضافه شده، مثل این که آزمایشگاه ی که در آن پدیده ی A رخ داده سوار قطاری شود که با سرعت ثابت u حرکت میکند. به این کار خیزاندن با سرعت u میگویند، و با آن هر سرعت v به سرعت v' تبدیل میشود، که

$$v' = v + u. \quad (5)$$

از جمله دیده میشود

$$\begin{aligned} K'_f - K'_i &= \sum_b \frac{m_{bf} v'_{bf} \cdot v'_{bf}}{2} - \sum_a \frac{m_{ai} v'_{ai} \cdot v'_{ai}}{2}, \\ &= \left(\sum_b \frac{m_{bf} v_{bf} \cdot v_{bf}}{2} \right) - \left(\sum_a \frac{m_{ai} v_{ai} \cdot v_{ai}}{2} \right) \\ &\quad + u \cdot \left[\left(\sum_b m_{bf} v_{bf} \right) - \left(\sum_a m_{ai} v_{ai} \right) \right] \\ &\quad + \frac{u \cdot u}{2} \left[\left(\sum_b m_{bf} \right) - \left(\sum_a m_{ai} \right) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

یعنی

$$K'_f - K'_i = K_f - K_i + u \cdot (P_f - P_i) + \frac{u \cdot u}{2} (M_f - M_i), \quad (7)$$

یا

$$Q' = Q + u \cdot (P_f - P_i) + \frac{u \cdot u}{2} (M_f - M_i), \quad (8)$$

که M جرم دستگاه است. دیده میشود این که به ازای هر u

$$Q' = Q, \quad (9)$$

یعنی گرما ی برخورد پریم-دار با گرما ی برخورد بدون-پریم برابر باشد، همئز است با این د-رابطه.

$$P_f = P_i. \quad (10)$$

$$M_f = M_i. \quad (11)$$

اولی پایستگی ی تکانه و دومی پایستگی ی جرم است. در مکانیک نیوتنی، گرما ی بر خُرد مستقل از خیزاندن است، و تکانه و جرم هم طی بر خُرد پایسته میمانند. بر خُرد کشسان است، اگر طی آن انرژی-ی جنبشی پایسته بماند. اگر ن، بر خُرد ناکشسان است. انرژی-ی جنبشی ی یک دستگاه از ذرات را میشود به دُ بخش تجزیه کرد: انرژی-ی جنبشی ی مرکز-جرم، و انرژی-ی جنبشی در چارچوب مرکز-جرم. برای دیدن این، v (سرعت یک ذره) را چنین مینویسم.

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}' + \mathbf{v}_{\text{cm}}. \quad (12)$$

این هم ان (5)، با $(-\mathbf{v}_{\text{cm}})$ به جای \mathbf{u} است. طبق تعریف مرکز-جرم،

$$\sum_a m_a \mathbf{v}_a = \left(\sum_a m_a \right) \mathbf{v}_{\text{cm}}. \quad (13)$$

پس،

$$\begin{aligned} \sum_a m_a \mathbf{v}'_a &= \sum_a m_a \mathbf{v}_a - \sum_a m_a \mathbf{v}_{\text{cm}}, \\ &= 0. \end{aligned} \quad (14)$$

ی

$$\mathbf{P}' = 0. \quad (15)$$

همچنین،

$$K = K' + \mathbf{v}_{\text{cm}} \cdot \mathbf{P}' + \frac{M \mathbf{v}_{\text{cm}} \cdot \mathbf{v}_{\text{cm}}}{2}. \quad (16)$$

لطفن این رابطه را به دست آورید. روشی که برای به-دست-آوردن (7) به دست آمد اینجا هم کار میکند. در (16)، جمله ی دوم در طرف راست صفر است. جمله ی اول انرژی-ی-جنبشی در چارچوب مرکز-جرم، و جمله ی سوم انرژی-ی-جنبشی ی مرکز-جرم است. انرژی-ی-جنبشی ی مرکز-جرم یعنی انرژی-ی-جنبشی ی جسمی که جرمش جرم کل دستگاه است و با سرعت مرکز-جرم حرکت میکند. این را با K_{cm} نشان میدهیم. به این ترتیب (16) میشود

$$K = K' + K_{cm}. \quad (17)$$

هر یک از جمله های طرف راست نامنفی ست. کمترین مقدار K' صفر است، و این مقدار متناظر است با این که همه ی v'_a ها صفر باشند. پس کمترین مقدار انرژی-ی-جنبشی ی یک دستگاه از ذرات، وقت ی v_{cm} و در نتیجه K_{cm} ثابت است، و این متناظر است با این سرعت همه ی ذرات هم ان سرعت مرکز-جرم باشد، یعنی همه ی ذرات با سرعت یکسان حرکت کنند. طی یک برخورد، تکانه ی دستگاه پایسته است، پس سرعت مرکز-جرم تغییر نمیکند. جرم دستگاه هم پایسته است. از اینها نتیجه میشود طی برخورد K_{cm} ثابت میماند. تغییر احتمالی ی K به خاطر تغییر K' است. حالتی که متناظر است با کمترین انرژی-ی-جنبشی ی کل پس از برخورد، این است که پس از برخورد سرعت همه ی ذرات یکسان شوند، ذرات به هم بچسبند. به چنین-برخوردی، برخورد کاملن-نا-کشسان میگویند.